

베이지 이론을 이용한 교류전철변전소의 신뢰도 분석

Reliability Analysis of AC traction System Substation by using Bayes' Theory

김영현* 구본희** 차준민*** 김형철****
Kim, Yonghyun Koo, BonHui Cha, Jun Min Kim, Hyungchul

ABSTRACT

The primary role of traction power systems is to provide reliable and continuous electrical energy to satisfy traction loads. AC traction substation transforms power from generation company and supply the power to the electric railway power line. Forced outage rate(FOR) of the equipment of substation should be used in the evaluation. This paper proposes the fast and easy way to evaluate by using Bayes' theory when a new equipment is added to the existing substation facility.

1. 서론

전력 계통의 운영에 있어서 가장 중요시 여겨지는 임무는 양질의 전력을 안정적으로 공급하는 것에 있다. 변전소는 전력계통의 중간 단계에 해당되는데 전력의 공급신뢰도에 중요한 역할을 담당한다. 하지만 현재 국내 변전설비에 관련된 고장률 데이터는 거의 없으며 데이터의 신뢰성은 확보되어 있지 못한 실정이다.

본 연구의 목적은 전력 공급신뢰도에 중요한 역할을 담당한 교류 전철 변전소의 고장률에 따른 신뢰도에서 새로운 시스템이 추가 되었을 경우 시스템 전체에 대한 신뢰도를 베이지 이론(Bayes' theory)을 이용해 신뢰도를 다시 분석하였다. 결과를 비교분석 함으로써 더 효율적으로 신뢰도를 구할 수 있는 방안을 모색하였다.

2. 교류변전소의 개요.

교류 전철용 변전소는 전력회사에서 공급되는 전력을 변성하여 2차측인 전차선로에 급전하는 역할을 한다. 변전소의 구성은 크게 수전 설비, 변압기 설비, 콘덴서 설비, 급전 설비, 그 외 고압배전 설비와 소내 전원 설비로 구성된다. 각각의 기능을 간단히 설명하자면, 수전 설비는 송전선로에서 3상 154[kV] 특별 고압의 전원을 수전하기 위한 설비이다. 차단기, 단로기, 계기용변성기, MOF, 수전 모선, 피뢰기, 보호계전기 등으로 구성되어있다. 변압기 설비는 전차선로에 알맞은 전압 공급하고 스코트 결선 변압기 단상부하에 따른 3상 전원에 대한 불 평형을 경감한다. 콘덴서 설비는 인덕턴스에 의한 전압강하를 보상하고 전기차 운행 시 분수조파 발생억제하며 무효전력 경감한다. 급전설비는 주변압기 2차측의 급전

*일반회원, 대전대학교 전기정보시스템공학과

** 대전대학교 전기정보시스템공학과 석사과정

*** 대전대학교 전기정보시스템공학과 부교수

**** 한국철도기술연구원 전기연구본부 선임연구원

용 모선으로부터 급전 인출 설비까지를 말한다.

또한 변전소는 BT 급전 방식과 AT 급전 방식의 변전소로 구분한다. <그림1>은 BT 급전 방식과 AT 급전방식의 결선도를 나타낸 것이다. BT 급전 방식은 직류에 비해 교류는 보다 강력한 전력사용은 가능하지만 통신선에 유도 장애를 일으켜 통신에 잡음을 일으키는 것은 물론 커다란 악영향이 발생하였다. 그래서 전차선에 전기가 통하지 않는 절연구간을 두고 거기에 부스터라는 장치를 넣어 레일에 흐르는 전류를 끌어올리는 방법 레일로부터 대지에 누설되는 전류의 량을 감소시킴으로써 통신장애를 해결한다. AT 급전 방식은 온도가 높은 청백색의 아크가 팬터그래프와 전차선을 손상시킬 우려 때문에 절연구간이 필요 없고 보수도 할 필요 없으며 레일에 흐르는 전류를 급전선으로 끌어올려 전류가 흐르는 레일구간의 길이를 줄여줌으로써 유도장애가 일어날 원인을 최대한 제거하려는 방식이다.

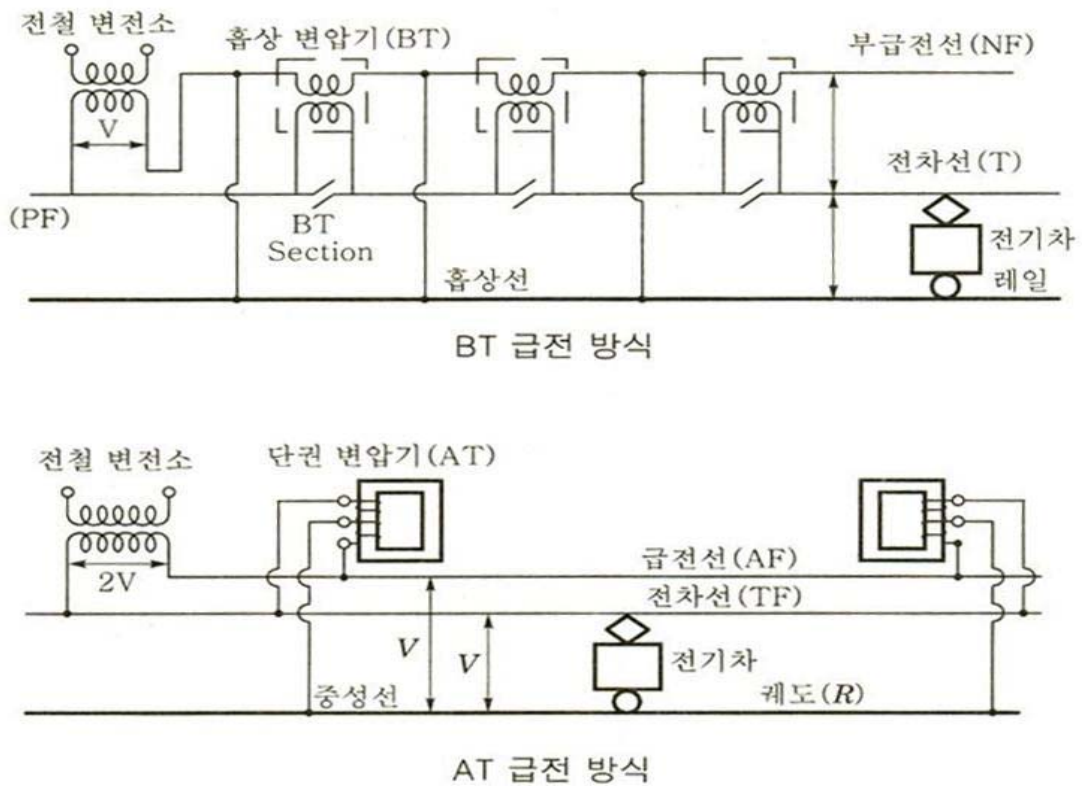


그림1. 급전방식

3. 베이즈 이론

시스템의 신뢰도는 선택된 기기가 주어졌을 때, 이것이 정상일 때 시스템의 신뢰도를 기기의 신뢰도와 곱한 것, 또는 기기가 고장인 경우 시스템의 신뢰도를 기기의 고장률과 곱한 것이다.

$$R_s = R_s(a\text{요소정상}) \cdot R_a + R_s(a\text{요소고장}) \cdot Q_a \quad (1)$$

단, R_s : 시스템의 신뢰도

R_a : 기기 a의 신뢰도

Q_a : 기기 a의 고장률

이 식은 다른 사상의 발생여부를 조건으로 하여 사상의 확률을 결정하는데 이용되므로 매우 유용한 식이다. 직접 사상의 확률을 계산하기는 어렵지만 어떤 다른 사상의 발생여부를 알면 그것을 계산하는 것이 간단하다.

예를 들면, <그림2>의 병렬 시스템이 성공적으로 작동하려면 3개중 적어도 2개가 기능을 발휘해야 한다.

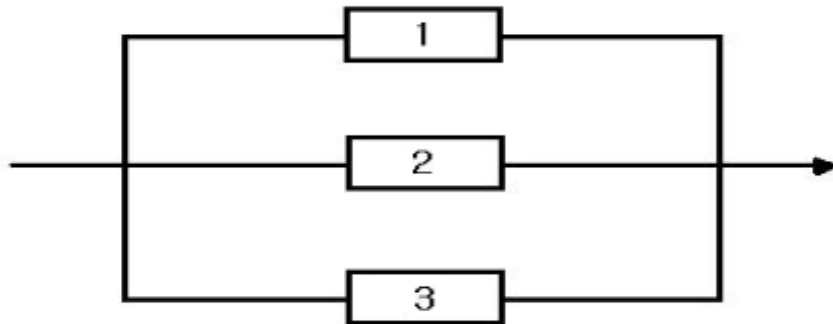


그림2. 병렬 시스템

베이지스 이론에 의한 시스템의 신뢰도는 다음 식(2) 과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 R_S &= R_S(\text{기기1정상})R_1 + R_S(\text{기기1고장})Q_1 & (2) \\
 &= [1 - (1 - R_2)(1 - R_3)]R_1 + R_2R_3(1 - R_1) \\
 &= (R_2 + R_3 - R_2R_3)R_1 + R_2R_3 - R_1R_2R_3 \\
 &= R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1 - 2R_1R_2R_3
 \end{aligned}$$

4. 사례연구

4.1. 변전소 설비와 기능 및 고장률

실제 교류 전철 변전소의 기본 설계안은 다음 <그림3> 과 같으며 표시된 각 설비의 기능을 간단히 살펴보면, 단로기는 부하전류를 제거한 후 회로를 격리하도록 하기 위한 장치이다. 계전기는 전기회로에서 회로를 두 개로 나누어 한쪽에서 신호를 만들고 그 신호에 따라 다른 쪽 회로의 작동을 제어하는데 사용하는 전자부품이 계전기이며 변류기는 교류의 큰 전류에서 그것에 비례하는 작은 전류를 얻는 장치이다. 피뢰기는 선로·전기기기 등을 이상 전압으로부터 보호하는 장치이고 단권변압기는 특수한 형태의 변압기로서 1차코일과 2차코일의 일부분이 공통으로 되어 있는 것을 말한다. 계기용변압기는 고압 회로의 전압을 이에 비례하는 낮은 전압으로 변성하는 것으로 회로에 병렬로 접속하여 사용된다. 본 연구에서는 <그림3>의 결선도에서 굵은 실선으로 표시된 C5,D5,E5,F5에 해당하는 단로기와 C6,D6,E6,F6의 단권변압기 부분의 신뢰도에 대해서 다루고자 한다.

표1. 변전소 설비기기의 기능에 따른 구분 및 고장률

설비기능	그룹	포함설비	고장률[%]
변전설비	A1,B1	가스차단기, 피뢰기	1.2801
	A2,B2	단로기	0.0229
	H1,H2	계전기, 계기용변압기, 단로기	2.3149
급전설비	C1,C4~5,D1,D4~5,E1, E4~5,F1,F4~5,G1	단로기	0.0229
	C2,D2,E2,F2,G2	계전기, 변류기, 계기용변압기	3.37778
	C3,D3,E3,F3,G3	가스차단기, 피뢰기	1.2801
	C6,D6,E6,F6	단권변압기	0.3999

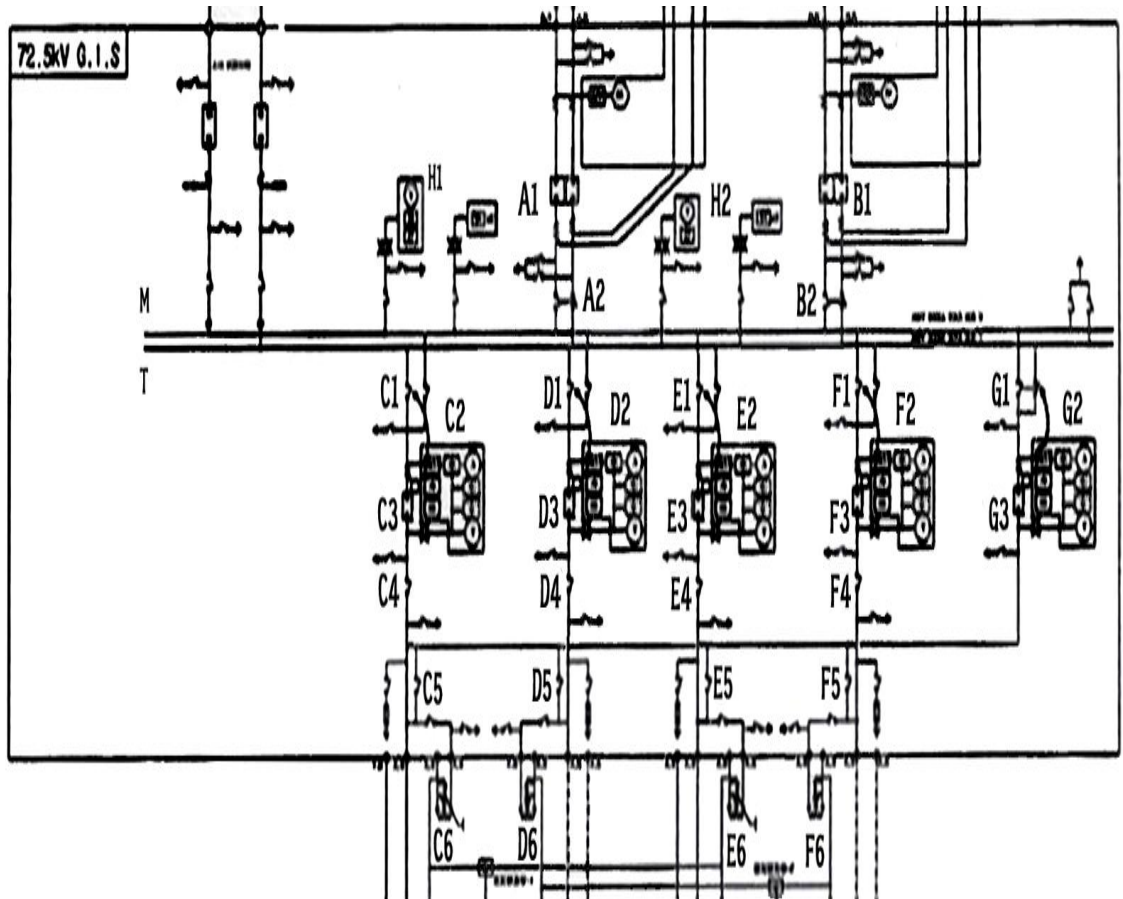


그림3. 교류 전철 변전소 결선도.

4.2. 베이스 이론을 이용한 신뢰도 해석

<그림3>에 표시된 부분의 결선도를 <그림4>같이 구성할 수 있다.

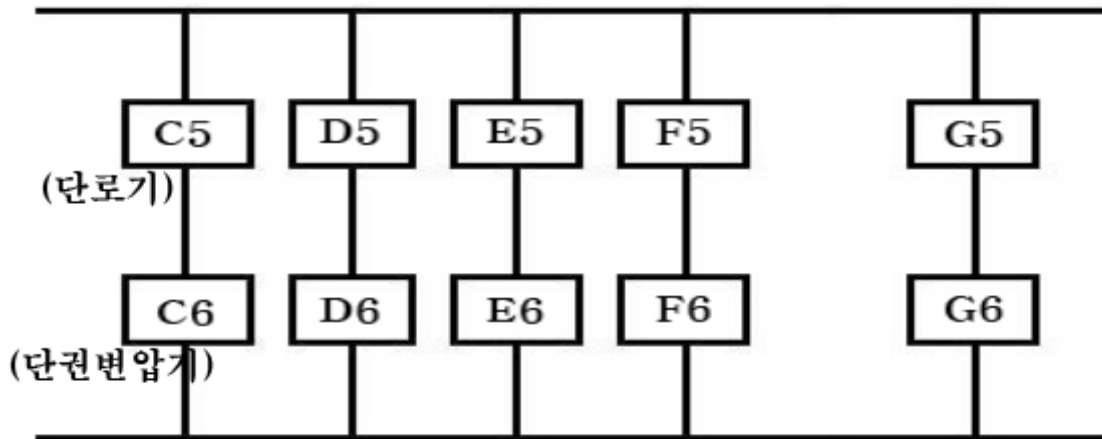


그림4. 단로기와 단권변압기의 블록도

여기서 C~F 까지 단로기와 단권변압기가 있을 때 신뢰도를 더 높이기 위해서 G5(단로기)와 G6(단권변압기)을 하나씩 더 추가했다. 5개의 단로기와 변압기 중에 최소한 4개가 기능을 발휘해야 한다. 이 부분의 신뢰도 산정은 처음부터 단로기와 변압기의 고장률 데이터를 추가해서 다시 계산을 해야 했다. 하지만 앞에서 언급했던 베イズ 이론을 이용해 신뢰도를 산출해보자. 우선 단로기와 단권변압기의 고장률을 계산해서 하나의 사상으로 간단하게 나타내 <그림6>과 같이 표현할 수 있다

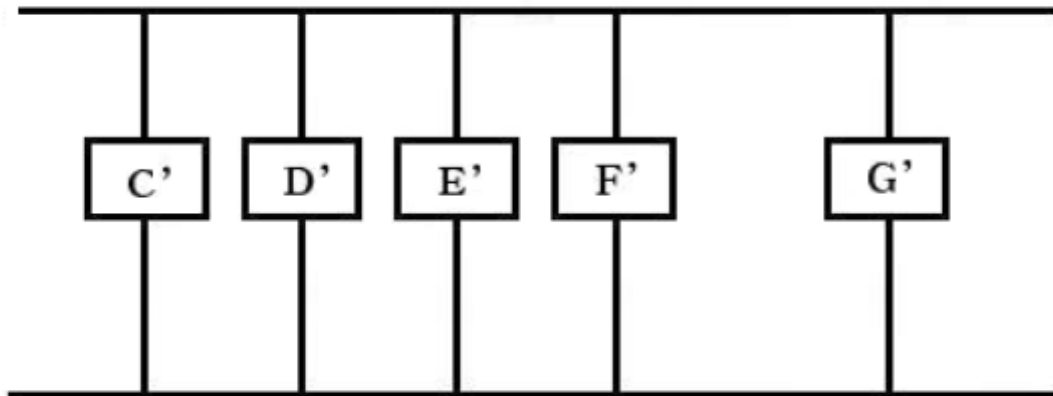


그림6. 간략화 된 블록도

C'~G'의 신뢰도를 계산하면

$$\begin{aligned}
 \text{C'의 신뢰도} &= [1-(\text{단로기 고장률}) \cdot (\text{단권변압기 고장률})] \\
 &= [1-(C5 \cdot C6)]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$= [1-(0.0229) \cdot (0.3999)]$$

$$= 0.9908$$

이 수치를 바탕으로 이 시스템의 전체 신뢰도를 새로 추가된 G'를 기준으로 식(4)과 같이 풀 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{고장률} &= [1-(1-C')(1-D')(1-E')(1-F')]G' + C'D'E'F'(1-G') & (4) \\ &= [1-(1-0.0091)(1-0.0091)(1-0.0091)(1-0.0091)]*(0.0091) \\ &\quad + (0.0091)(0.0091)(0.0091)(0.0091)*(1-0.0091) \\ &= 0.00025[\%] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{신뢰도} &= 1 - \text{고장률} & (5) \\ &= 0.99975[\%] \end{aligned}$$

식(5)과 같이 G'를 추가 설비 하였을 때의 신뢰도 0.99975[%]는 G'가 없을 때 신뢰도 99.633[%] 보다 높아 졌다.

다. 결론

신뢰도를 높이기 위해서 시스템의 개선방안은 여러 가지가 있다. 여기서는 새로운 기기를 추가함으로써 전체시스템의 신뢰도를 높이는 방안을 생각해 보았다. 새로 추가된 기기와 기존에 있던 시스템과의 고장률을 바탕으로 신뢰도를 다시 구해야 한다. 규모가 작은 시스템의 경우에는 데이터가 많지 않기 때문에 쉽게 구할 수 있으나 복잡하고 규모가 큰 시스템의 신뢰도를 다시 구하기 위해서는 많은 시간이 걸리고 구하기 또한 쉽지 않다.

이러한 경우에 기존에 있던 시스템의 고장률과 새로 추가/도입 되는 기기의 고장률을 안다면 전체시스템의 신뢰도 산출 과정은 베イズ 이론을 이용해 더욱 효율적으로 계산될 수 있다고 사료된다.

또한 전체시스템의 신뢰도가 많이 떨어져 있을 때 베イズ 이론을 이용해 미리 추가될 부분의 신뢰도를 산출해 본 다음에 추가설비 계획을 잡는 과정에서도 좋은 방안이 될 수 있다고 생각한다.

참고로 본 논문에서 제시되고 있는 결과 치들은 확률에 기초를 둔 수치들이다. 기본사상의 (설비 또는 기기)의 고장률을 어떻게 선택 하는가에 따라 시스템의 신뢰도가 변하므로 실제와 본 연구의 결과 치와는 차이가 있을 수 있음을 밝혀둔다.

<참고문헌>

1. 강인권, 전기철도 시스템 공학
2. 양병남, 전기철도 공학
3. 김원경, 신뢰도공학의 이론과 실제
4. Mendenhall, 진영사, 기초)응용수리통계학
5. Ross Sheldon, 자유아카데미, 확률의 입문